

分散強化および合金化によるタングステンの耐中性子照射特性の向上 Improvement of neutron irradiation resistance of tungsten by dispersion strengthening and alloying

野上修平¹、Dmitry Terentyev²、Aleksandr Zinovev²、長谷川晃¹、Michael Rieth³
Shuhei Nogami¹、Dmitry Terentyev²、Aleksandr Zinovev²、Akira Hasegawa¹、Michael Rieth³

¹東北大、²SCK・CEN、³KIT
¹Tohoku Univ., ²SCK・CEN, ³KIT

1. 緒言

核融合炉のプラズマ対向材料として期待されるタングステン (W) は、高い脆性延性遷移温度 (DBTT)、高温下における再結晶脆化、中性子照射下における照射脆化などが課題であり、基本的な機械特性や熱特性とともに、再結晶脆化および照射脆化に対する耐性の向上が求められている。これに対し、我々は、カリウム (K) バブルによる分散強化 (K ドープ) や、レニウム (Re) の固溶による合金化を適用することにより、強度や延性の向上、DBTTの低減、再結晶温度の向上などが、中性子照射無しのもとで発現することを明らかにした。本報告では、これらの材料の耐中性子照射特性について評価した結果について報告するとともに、K ドープやRe添加の有効性について議論する。なお、本研究は欧州EUROfusionの取り組みの一環として実施されたものであり、欧州で提案されたW合金候補材とともに比較評価された。

2. 実験方法

供試材は、粉末焼結と熱間圧延で製作され、応力除去熱処理を施した、アライドマテリアル社製のKドープWとKドープW-3%Reである。併せて、粉末焼結と熱間鍛造で製作され、応力除去熱処理を施した、プランゼー社製の純Wを参照材として使用した。これらの材料を、長さ12 mm x 幅1mm x 厚さ1mmの曲げ試験片に加工した。L方向と圧延方向を合わせた。

中性子照射は、ベルギーSCK・CENのBR2炉で実施した。照射温度は600℃および1100℃、照射量は1~1.1dpaであった。BR2では熱中性子の影響が無視できないため、右図に示すとおり、1dpa程度の照射をすると、固体核変換に起因した著しい照射硬化が想定される。この照射では、ステンレス鋼製厚肉キャプセルに試験片を装填することにより、固体核変換を抑制した。照

射後において、純WとKドープW中のReとOsの濃度は約2%および約0.2%、KドープW-3%Re中のReとOsの濃度は約5%および約1%であった。

照射後試験として、L-T方向の3点曲げ試験を、試験温度-50℃から600℃において実施し、破断ひずみを基にDBTTを評価した。試験後には、破面を走査電子顕微鏡 (SEM) で観察した。

3. 結果と考察

Kドープは、中性子照射によるDBTTの上昇を両照射温度において抑制した。本実験で用いたKドープWのDBTTシフトは、本枠組みで評価された材料の中で一番小さかった。一方、KドープW-3%ReのDBTTシフトは、照射温度1100℃ではKドープWより100℃ほど高く、照射温度600℃では600℃以上であった (試験温度600℃までで、照射後のDBTTは見られなかった。)。これらの挙動は、核変換に起因するReやOsの生成と、そのクラスタリングや析出による硬化が起因していると考えられる。

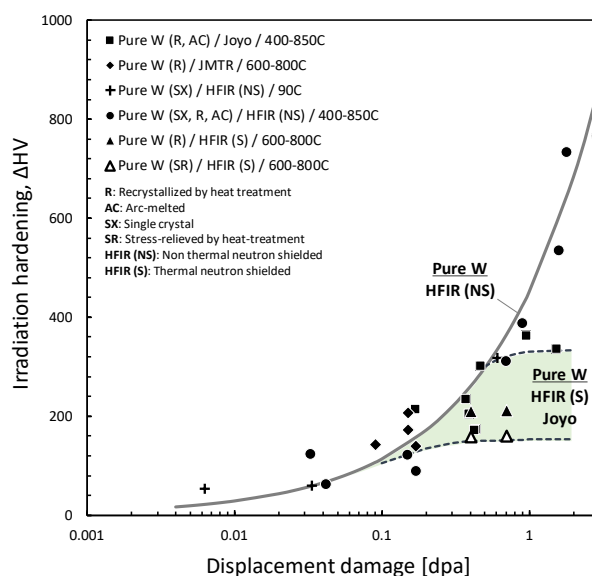


図. 純 W の照射硬化量の照射量依存性
(Ref. Nogami et al., J.N.M. (2021).)